19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

پایش روندهای اکولوژیکی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با تکیه بر داده‌های سنجش از دور

رحمان باریده[1*]، علیرضا توسلی[1]، احمد بایبوردی[1]، رامین نیکان فر[1]، ابوالفضل ناصری[1]

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران؛ (*نویسنده مسئول: rahman.barideh@gmail.com)

چکیده

در این پژوهش، روندهای بلندمدت متغیرهای اقلیمی و زیست‌محیطی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ با استفاده از داده‌های بازتحلیل، ماهواره‌ای و آلتیمتری بررسی شد. متغیرهای مورد تحلیل شامل دمای میانگین، بارش سالانه، شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) و ارتفاع سطح آب دریاچه بودند. با استفاده از آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سِن، روندهای زمانی استخراج و همچنین روابط بین متغیرها با ضریب همبستگی پیرسون تحلیل شدند. نتایج نشان داد که سطح آب دریاچه به‌طور معناداری کاهش یافته است ($p < 0.01$)، در حالی که دما و NDVI روندی افزایشی داشته‌اند. بارش سالانه فاقد روند مشخص و معنی‌دار بود. همبستگی منفی بین دما و سطح آب و نیز بین NDVI و تراز آب، نشان‌دهنده اثرات ترکیبی گرمایش و تغییر کاربری اراضی بر منابع آبی است. این نتایج لزوم سیاست‌گذاری هوشمندانه و اقدامات فوری برای مدیریت پایدار منابع آب و تطبیق با شرایط اقلیمی در حال تغییر را برجسته می‌سازد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، ارتفاع سطح آب، شاخص پوشش گیاهی ، تحلیل روند، داده‌های ماهواره‌ای

مقدمه

در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی به طور قابل توجهی بر منابع آب و اکوسیستم‌های حساس در سراسر جهان تأثیر گذاشته‌اند. یکی از مناطق مهم و آسیب‌پذیر در این زمینه، حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران است که با کاهش چشمگیر سطح آب، تغییرات پوشش گیاهی و اختلالات زیست‌محیطی مواجه شده است. بنابراین بررسی دقیق روندهای اقلیمی و هیدرولوژیکی در این حوضه می‌تواند راهنمایی مؤثر برای مدیریت پایدار منابع و کاهش آسیب‌های محیطی باشد (Barideh et al. 2021, Barideh and Nasimi 2022).

دریاچه ارومیه طی دو دهه گذشته با کاهش شدید تراز آب روبرو شده که این موضوع به علت عوامل متعددی از جمله تغییرات اقلیمی، افزایش دمای هوا، کاهش بارش و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب سطحی و زیرزمینی است. علاوه بر این، تغییرات در پوشش گیاهی و استفاده از زمین‌های اطراف دریاچه، بر پویایی اکوسیستم و چرخه هیدرولوژیکی منطقه تأثیر گذاشته است. درک تعامل بین این عوامل و روندهای زمانی آن‌ها برای پیش‌بینی شرایط آینده و اتخاذ سیاست‌های سازگار بسیار ضروری است (Davarpanah et al. 2021, Nikraftar et al. 2021).

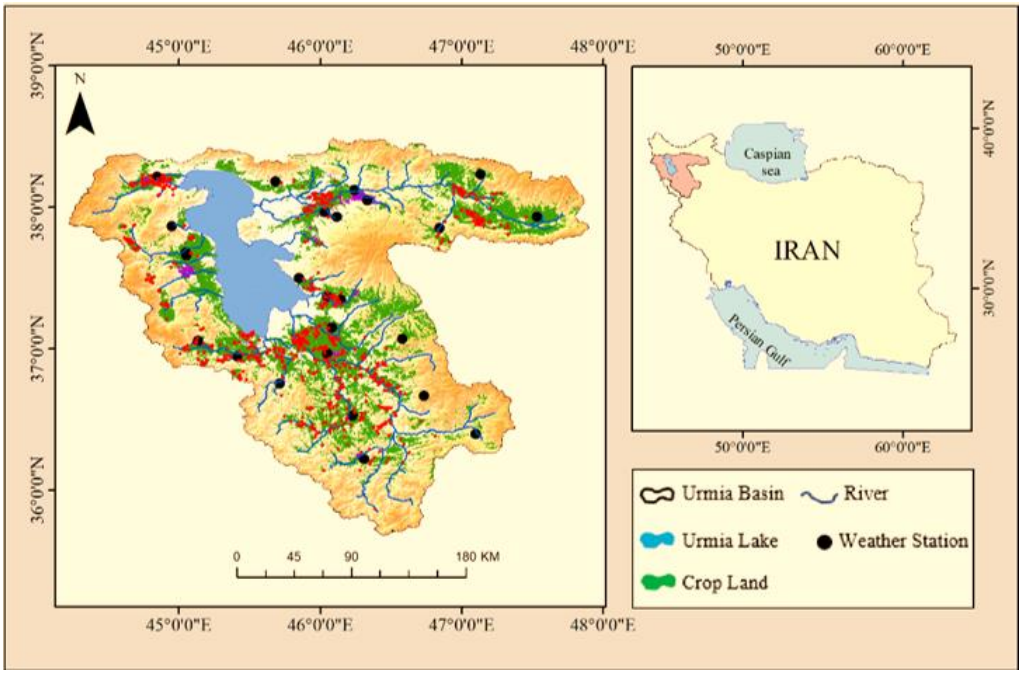
استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و بازتحلیل اقلیمی، به عنوان ابزارهای نوین و دقیق، امکان رصد و تحلیل تغییرات بلندمدت را در مناطق وسیع و دسترسی‌ناپذیر فراهم کرده‌اند. شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) به عنوان یک معیار کلیدی در پایش سلامت پوشش گیاهی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی در مقیاس وسیع کاربرد گسترده‌ای دارد. همچنین، تحلیل روندهای آماری مانند آزمون من-کندال و شیب سن، به شناسایی تغییرات معنادار و کمی‌سازی شدت روندها کمک می‌کند (Barideh et al. 2021, Barideh and Nasimi 2024, Pelosi et al. 2020).

در این مطالعه، روندهای بلندمدت دمای میانگین، بارش سالانه، پوشش گیاهی و سطح آب دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و بازتحلیل بررسی شده است. هدف اصلی این تحقیق، تحلیل روندهای اقلیمی و زیست‌محیطی در حوضه آبریز و شناخت تعاملات بین این متغیرها برای ارائه راهکارهای مدیریتی و حفاظت از منابع آبی و اکوسیستم حساس این منطقه است.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال‌غرب ایران واقع شده و به‌عنوان یکی از نواحی حساس کشور از منظر تغییرات اقلیمی و بحران منابع آب شناخته می‌شود. این دریاچه طی دو دهه اخیر با کاهش چشمگیر سطح تراز آب، خشکی سواحل و تغییرات عمده در پوشش گیاهی مواجه شده است. اقلیم حوضه به‌طور کلی از نوع سرد و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود. میانگین دمای سالانه حدود ۱۳ درجه سانتی‌گراد است و میانگین بارش سالانه در حوضه بین ۱۸۰ تا ۴۴۰ میلی‌متر متغیر است، به‌طوری‌که در فاصله ماه‌های تیر تا شهریور تقریباً هیچ بارشی رخ نمی‌دهد.



شکل ۱ – موقعیت مکانی محل انجام پژوهش

داده‌ها

در این پژوهش، از داده‌های ترکیبی شامل داده‌های بازتحلیل اقلیمی، سنجش از دور و آلتیمتری ماهواره‌ای استفاده شد. بازه زمانی مطالعه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ میلادی در نظر گرفته شده و کلیه داده‌ها به صورت سالانه تجمیع شده‌اند. جزئیات منابع داده‌ای در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- منابع داده ای مورد استفاده

متغیر	منبع داده	توضیحات
دمای میانگین (°C)	ERA5 (ECMWF)	میانگین سالانه دما در محدوده حوضه
بارش سالانه (mm)	ERA5 (ECMWF)	بارش تجمیعی سالانه
NDVI	MOD13Q1	شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی
سطح آب دریاچه (m)	DAHITI (TUM)	داده‌های آلتیمتری ماهواره‌ای دریاچه ارومیه

از داده‌های بازتحلیل ERA5 (ECMWF) برای استخراج دمای میانگین سالانه و مجموع بارش سالانه استفاده شد. این داده‌ها یک مجموعه داده بازتحلیل جهانی نسل پنجم است که توسط مرکز اروپایی پیش‌بینی آب و هوای میان‌مدت (ECMWF) تولید شده و شامل اطلاعات جامع اقلیمی از سطح زمین تا استراتوسفر است.

برای پایش تغییرات پوشش گیاهی، از داده‌های ماهواره‌ای MODIS (MOD13Q1) استفاده گردید. مادیس ابزاری کلیدی بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua ناسا است که داده‌های مهمی را برای مطالعه فرآیندهای خشکی، اقیانوسی و جوی زمین فراهم می‌کند.

داده‌های آلتیمتری ماهواره‌ای مربوط به ارتفاع سطح آب دریاچه ارومیه از پایگاه داده DAHITI (Database for Hydrological Time Series of Inland Waters) که توسط دانشگاه فنی مونیخ (TUM) ارائه می‌شود، استخراج شد.

روش‌های تجزیه و تحلیل

تمام داده‌ها به صورت عددی و سالانه در قالب یک جدول تجمیع شدند و وارد محیط برنامه‌نویسی Python شدند. از کتابخانه‌های تخصصی مانند pandas برای پاک‌سازی و مدیریت داده و matplotlib و seaborn برای مصورسازی استفاده شد.

برای شناسایی و سنجش روندهای آماری در سری‌های زمانی مربوط به دمای میانگین، بارش، NDVI و تراز سطح آب دریاچه از آزمون غیرپارامتریک من-کندال (Mann-Kendall) استفاده گردید. این آزمون برای داده‌های اقلیمی که توزیع نرمال ندارند بسیار مناسب بوده و قابلیت تشخیص روند صعودی یا نزولی را بدون وابستگی به توزیع دارد. در ادامه، برای برآورد نرخ تغییرات در صورت معنی‌دار بودن روند، از برآوردگر شیب سِن (Sen's Slope) استفاده شد؛ این روش با محاسبه میانه شیب بین تمام زوج‌های ممکن نقاط زمانی، شیب واقعی روند را با مقاومت بالا در برابر داده‌های پرت ارائه می‌دهد.

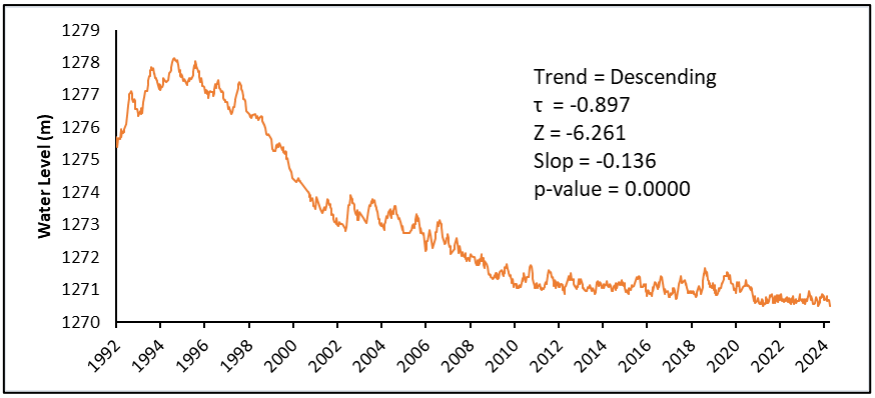
برای بررسی روابط بین متغیرهای کلیدی شامل NDVI، بارش، دما و سطح آب از تحلیل همبستگی پیرسون استفاده شد. ضریب همبستگی (r) برای هر زوج متغیر محاسبه گردید و به منظور ارائه تصویری جامع، از ماتریس همبستگی و نقشه حرارتی (heatmap) استفاده شد.

نتایج و بحث

تحلیل روند متغیرها

روند تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه

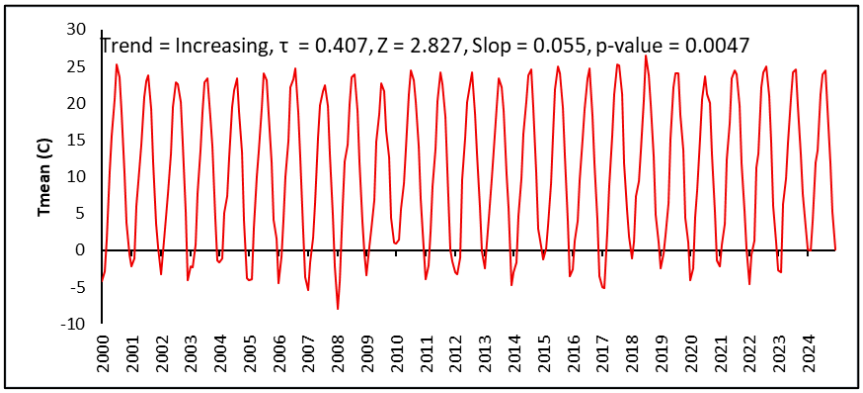
نمودار تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه (شکل ۲) حاکی از روند نزولی مستمر و معناداری در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ است. نتایج آزمون من-کندال نیز این روند را با ضریب تاو (τ) برابر با ۰٫۸۹۷-، آماره Z معادل ۶٫۲۶۱- و مقدار p برابر صفر، در سطح معنی‌داری ۱ درصد تأیید می‌کند. شیب سِن برای این روند برابر با ۰٫۱۳۶- متر در سال برآورد شده است. این افت چشمگیر تراز آب احتمالاً ناشی از ترکیبی از کاهش منابع ورودی، افزایش دما و تبخیر و همچنین افزایش سطح زیر کشت آبی و برداشت بی‌رویه آب در بخش‌های کشاورزی و شهری حوضه است.



شکل ۲- نمودار تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه

روند تغییرات دمای میانگین

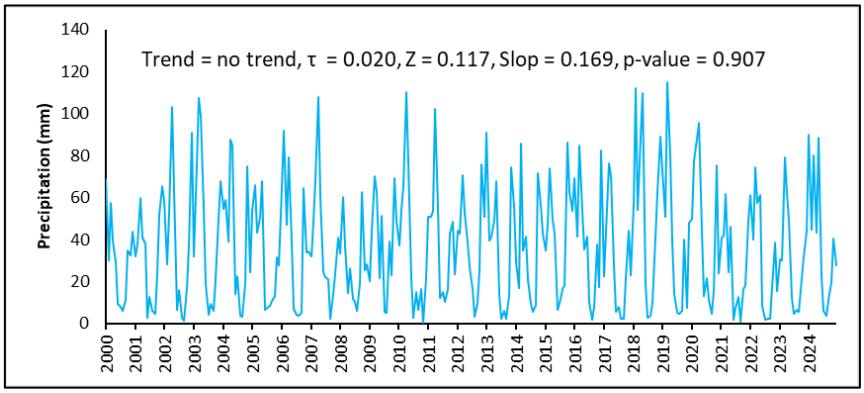
تحلیل روند دمای میانگین (شکل ۳) افزایش تدریجی این متغیر را در دو دهه اخیر نشان می‌دهد. آزمون من-کندال روندی صعودی با τ برابر با ۰,۴۰۷، Z برابر با ۲,۸۲۷ و p معادل ۰,۰۰۴۷ (معنی‌دار در سطح ۱ درصد) را نشان می‌دهد. شیب روند حدود ۰,۰۵۵+ درجه سانتی‌گراد در سال برآورد شد. این افزایش دما می‌تواند نقش بسزایی در تشدید تبخیر از سطح دریاچه و افزایش فشار آبی بر اکوسیستم منطقه داشته باشد.



شکل ۳- نمودار تغییرات دمای میانگین ماهانه حوضه دریاچه ارومیه

روند تغییرات بارش سالانه

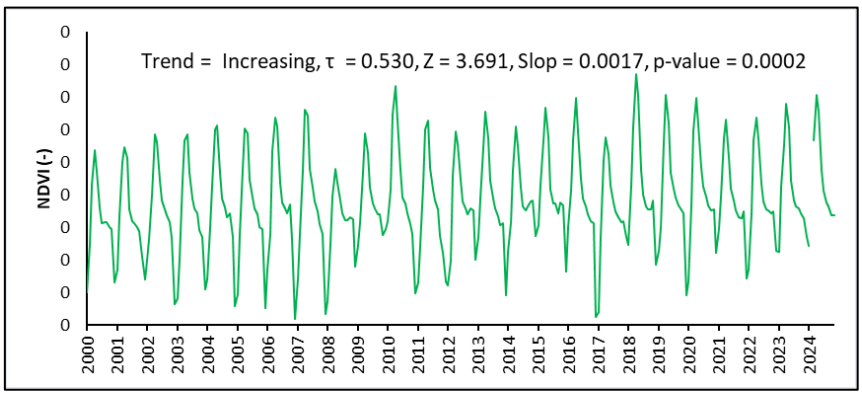
نمودار بارش سالانه (شکل ۴) نوسانات قابل‌توجهی را طی دوره مورد بررسی نشان می‌دهد، اما فاقد روند مشخص افزایشی یا کاهشی است. آزمون من-کندال نیز این موضوع را با ضریب τ برابر ۰,۰۲۰، Z معادل ۰,۱۱۷ و p برابر ۰,۹۰۷۰ (غیرمعنی‌دار) تأیید می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در دوره مورد بررسی، تغییر سیستماتیکی در الگوی بارش سالانه حوضه مشاهده نشده است.



شکل ۴- نمودار تغییرات بارش ماهانه حوضه دریاچه ارومیه

روند تغییرات شاخص NDVI

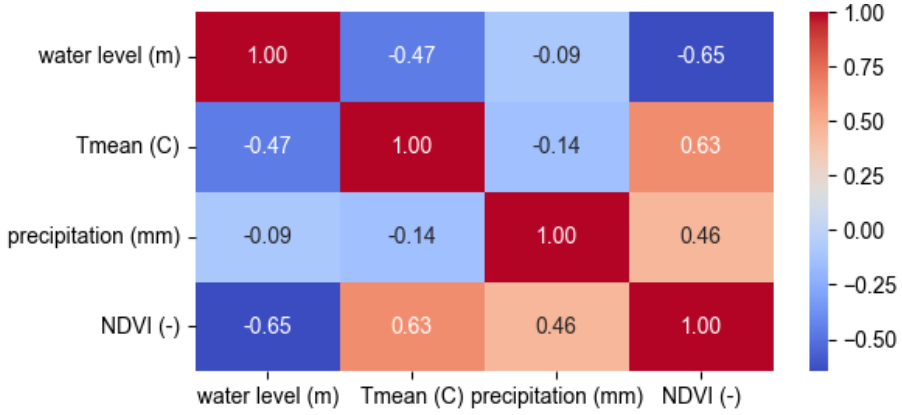
تحلیل روند شاخص NDVI (شکل ۵) افزایشی ملایم اما معنادار را در پوشش گیاهی منطقه نشان می‌دهد. آزمون من-کندال، روندی صعودی با τ برابر ۰٫۵۳۰، Z معادل ۳٫۶۹۱ و p برابر ۰٫۰۰۰۲ (معنی‌دار در سطح ۱ درصد) را گزارش می‌دهد. مقدار شیب سِن نیز برابر ۰٫۰۰۱۷+ در سال برآورد شده است. این افزایش ممکن است ناشی از تغییر در الگوهای کشت، رشد سطح زیر کشت در حوضه باشد.



شکل ۵- نمودار تغییرات شاخص پوشش گیاهی حوضه دریاچه ارومیه

تحلیل همبستگی بین متغیرها

به‌منظور بررسی روابط آماری بین متغیرهای اقلیمی و زیست‌محیطی مورد مطالعه، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد و نتایج آن به‌صورت نقشه حرارتی (Heatmap) ارائه گردید (شکل ۶). تحلیل همبستگی‌ها نشان داد که بین سطح آب دریاچه و دمای میانگین همبستگی منفی نسبتاً قوی (r = -0.47) وجود دارد که بیانگر کاهش سطح آب در واکنش به افزایش دماست؛ پدیده‌ای که می‌تواند ناشی از افزایش تبخیر در سال‌های گرم‌تر باشد. از سوی دیگر، بارش و سطح آب تنها همبستگی بسیار ضعیف و منفی (r = -0.09) نشان دادند که احتمالاً به دلیل تأثیر غالب عوامل انسانی مانند بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب در بخش کشاورزی و مدیریت ناپایدار منابع سطحی است. رابطه بین NDVI و سطح آب نیز منفی و نسبتاً قوی (r = -0.65) بود. در مقابل، همبستگی مثبت قوی بین دمای میانگین و پوشش گیاهی (r = +0.63) مشاهده شد که می‌تواند ناشی از تغییر الگوی کشت از زراعی به باغی و از دیم به آبی باشد. در نهایت، رابطه بارش و NDVI نیز همبستگی مثبت و معنادار متوسط (r = +0.46) را نشان داد که مطابق انتظار، تأثیر مستقیم رطوبت بر بهبود شرایط رشد پوشش گیاهی را بازتاب می‌دهد.



شکل ۶- همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و زیست‌محیطی مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش بیانگر روندهای نگران‌کننده در وضعیت اکولوژیکی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در طی ۲۵ سال گذشته است. افت معنادار و پیوسته سطح آب دریاچه با نرخ سالانه ۱۳٫۶ سانتی‌متر، در کنار افزایش تدریجی دمای میانگین سالانه،

نشان‌دهنده تأثیر ترکیبی تغییر اقلیم و فشارهای انسانی بر منابع آبی این حوضه است. در حالی‌که بارش تغییر روند معنی‌داری نداشته، پوشش گیاهی (NDVI) در سطح حوضه روندی افزایشی از خود نشان داده است که احتمالاً ناشی از گسترش اراضی کشاورزی در مناطق خشک‌شده یا تغییر نوع کشت و پوشش گیاهی می‌باشد. تحلیل همبستگی‌ها نیز نشان داد که افزایش دما و کاهش سطح آب دریاچه رابطه منفی معناداری دارند، در حالی‌که پوشش گیاهی رابطه مثبتی با بارش و دما دارد. این یافته‌ها بر ضرورت مدیریت یکپارچه منابع آب، کاهش بهره‌برداری بی‌رویه، و سازگاری با تغییر اقلیم در سطح منطقه تأکید می‌کنند.

فهرست منابع

Barideh R, Nasimi F (2022) Investigating the changes in agricultural land use and actual evapotranspiration of the Urmia Lake basin based on FAO's WaPOR database. Agric Water Manag. 264:107509.
Barideh R, Veysi S, Ebrahimipak N, Davatgar N (2022) The challenge of reference evapotranspiration between the WaPOR dataset and geostatistical methods. Irrig Drain. 71:1268–1279.
Barideh, R., Nasimi, F. (2024). GEE RET: Cloud-based reference evapotranspiration calculation with google earth engine. Theor Appl Climatol.
Davarpanah, S., Erfanian, M., Javan, K., 2021. Assessment of climate change impacts on drought and wet spells in Lake Urmia basin. Pure Appl. Geophys. 178, 545–563.
Nikraftar, Z., Parizi, E., Hosseini, S.M., Ataie-Ashtiani, B., 2021. Lake Urmia restoration success story: a natural trend or a planned remedy. J. Gt. Lakes Res. 47, 955–969.
Pelosi A, Terribile F, D'Urso G, Chirico GB (2020) Comparison of ERA5-Land and UERRA MESCAN-SURFEX Reanalysis Data with Spatially Interpolated Weather Observations for the Regional Assessment of Reference Evapotranspiration. Water 12:1669.

Monitoring Ecological Trends in the Urmia Lake Basin Using Remote Sensing Data

Rahman Barideh[1*], Alireza Tavasolee[1], Ahmad Baybordi[1], Ramin Nikanfar[1], Abolfazl Nasseri[1]
1- East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Tabriz, East Azerbaijan, Iran (*Corresponding author: rahman.barideh@gmail.com)

Abstract

This study investigates the long-term trends of climatic and environmental variables in the Urmia Lake Basin from 2000 to 2024 using reanalysis, satellite, and altimetry data. The analyzed variables include average temperature, annual precipitation, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and lake water level. Temporal trends were extracted using the Mann-Kendall test and Sen's slope estimator, while Pearson correlation coefficients were applied to analyze relationships among variables. Results indicate a significant decline in lake water level ($p < 0.01$), alongside increasing trends in temperature and NDVI. Annual precipitation showed no significant trend. Negative correlations between temperature and water level, as well as between NDVI and water level, highlight the combined effects of warming and land-use changes on water resources. These findings underscore the urgent need for sustainable water resource management and climate adaptation strategies in the basin.

Keywords: Climate Change, Water Level, Vegetation Index (NDVI), Trend Analysis, Satellite Data